



Prof. dr hab. inż. Robert SEKRET
Profesor zwyczajny w Politechnice Częstochowskiej

POLITECHNIKA CZĘSTOCHOWSKA
Wydział Inżynierii Środowiska i Biotechnologii
Katedra Ciepłownictwa, Ogrzewnictwa i Wentylacji
42 – 201 Częstochowa, ul. J.H. Dąbrowskiego 69
Tel.: +48 664758109; E-mail: rsekret@is.pcz.czest.pl

Częstochowa, 08.01.2015 r.

Szanowny Pan
Prof. dr hab. inż. Janusz Kotowicz
Dziekan Wydziału
Inżynierii Środowiska i Energetyki
Politechniki Śląskiej
ul. Konarskiego 18
44-100 Gliwice

Recenzja

Rozprawy doktorskiej mgr inż. Agaty Świerc

1. Wprowadzenie

Recenzja niniejsza została napisana w odpowiedzi na pismo Nr RIE-BD/4/108/2014/2015 z dnia 17 grudnia 2014 roku.

2. Zakres rozprawy

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska mgr inż. Agaty Świerc nosi tytuł „Wyznaczanie strat ciepła przez przenikanie istniejącego budynku mieszkalnego na potrzeby jego diagnostyki cieplnej”. Zawiera 128 stron tekstu (nie licząc piśmiennictwa i załącznika). Oparto ją łącznie o 139 pozycje bibliograficzne. Rozprawa została podzielona na 13 głównych rozdziałów, wykaz ważniejszych oznaczeń i indeksów oraz 1 załącznik.

Pierwszy rozdział rozprawy to wprowadzenie do pracy. Autorka odniosła się w nim do zagadnień dotyczących problematyki: wpływu rosnących cen paliw i energii na aspekt racjonalizacji użytkowania energii w budynkach, konieczności opracowywania oceny energetycznej budynków wraz z diagnostyką cieplną instalacji grzewczych i klimatyzacyjnych oraz problemów związanych z obowiązującymi

metodami ich wykonania. Doktorantka przedstawiła ponadto potrzebę wykorzystania metod *in situ* w ocenie energetycznej systemów budowlano-instalacyjnych. Rozdział drugi ocenianej rozprawy to cel i zakres pracy. Jako cel pracy Doktorantka przyjęła opracowanie metody pozwalającej na określanie strat ciepła przez przenikanie budynku na podstawie krótkich pomiarów *in situ* wykonywanych w ramach prowadzonej w budynku diagnostyki cieplnej. W końcowej części rozdziału drugiego Doktorantka przedstawiła zakres stosowalności opracowywanej metody. Na zakończenie rozdziału zaprezentowano także zakres pracy. Rozdział trzeci pracy to część studialna poświęcona strukturze budownictwa w kraju i Unii Europejskiej. Zwrócono w nim także uwagę na ciągłą potrzebę modernizacji dużej części istniejących zasobów budowlanych. W rozdziale czwartym Doktorantka przedstawiła problem i cel diagnostyki cieplnej budynku jako część składową analizy energetycznej i pierwszy etap wyznaczania jego charakterystyki energetycznej. W rozdziale piątym zaprezentowano zasady określania charakterystyki energetycznej budynków mieszkalnych (z uwzględnieniem algorytmów analitycznych oraz pomiarów) oraz kluczowe dane wejściowe wymagane do wykonania oceny energetycznej. W rozdziale szóstym Doktorantka odniosła się do zagadnień związanych z wyznaczaniem: oporu cieplnego, współczynnika przenikania ciepła, współczynnika strat ciepła przez przenikanie oraz przedstawiła problemy występujące przy diagnostyce izolacyjności termicznej przegród zewnętrznych budynku. Rozdział siódmy stanowi przegląd metod wykorzystujących pomiary w budynkach dla potrzeby określenia charakterystyki energetycznej budynku, w tym zużycia energii na potrzeby ogrzewania i wentylacji, a także charakterystyki poszczególnych jego elementów ze szczególnym uwzględnieniem obudowy zewnętrznej budynku. W przeglądzie uwzględniono budynki testowe oraz budynki użytkowane podczas pomiarów. Rozdział ósmy ocenianej rozprawy to opis proponowanej metody bilansowej. Przedstawiono w nim ideę bilansu energetycznego budynku, która pozwala na wyznaczenie współczynnika strat ciepła przez przenikanie na drodze krótkich pomiarów zużycia ciepła a następnie określenie zużycia energii na potrzeby ogrzewania i wentylacji w standardowym sezonie grzewczym. W rozdziale dziewiątym Doktorantka zawarła model matematyczny i algorytm obliczeniowy programu symulacyjnego. Rozdział ten zawiera ponadto: ogólny opis metody Exodus i jej zastosowania, podstawy teoretyczne metody Exodus, model zastępczy przegrody budowlanej i przebieg obliczeń. Algorytm



obliczeniowy powstał jako połączenie trzech zagadnień: metody Exodus, systemów liniowych niezmiennych w czasie oraz temperatury słonecznej. Rozdział dziesiąty stanowi weryfikację i walidację modelu przedstawionego w rozdziale dziewiątym. Weryfikację poszczególnych komponentów modelu wykonano w środowisku interaktywnym Matlab poprzez wywoływanie ich funkcjonalności z parametrami, dla których wcześniej wyliczono prawidłową odpowiedź. W celu dopasowania poszczególnych elementów modelu i jego walidacji, wyniki uzyskane przy użyciu autorskiego programu porównano z otrzymanymi przy wykorzystaniu programu symulacyjnego Ansys CFX. Rozdział dziesiąty zawiera również opis przeprowadzonych symulacji oraz analizę wpływu zmienności elementów składowych modelu na przebieg temperatury wewnętrznej powierzchni przegrody budowlanej. W rozdziale jedenastym Doktorantka przedstawiła możliwości zastosowania modelu do badania wybranych wielkości związanych z przenikaniem ciepła w odniesieniu do różnych przegród budowlanych. Zawiera on badanie: stanu funkcji odpowiedzi impulsowych, temperatury wewnętrznej powierzchni oraz gęstości strumienia ciepła dla wybranych przegród budowlanych, wpływ grubości i położenia warstwy izolacji cieplnej na uzyskiwane przebiegi funkcji odpowiedzi impulsowych, analizę wrażliwości wyników na niepewność danych wejściowych (z uwzględnieniem konstrukcji przegrody budowlanej i usytuowanie przegrody budowlanej względem stron świata). Rozdział dwunasty stanowi opis praktycznego zastosowania proponowanej w rozdziale 8 metody bilansowej z zastosowaniem miarodajnej temperatury zewnętrznej w warunkach rzeczywistych poprzez przeprowadzenie badań w dwóch wybranych budynkach. Rozdział ten zawiera także: opis wyboru obiektów do realizacji badań, dane niezbędne do zastosowania metody, przyjęte założenia oraz zalecenia do zastosowania metody, przyjęty w pracy sposób estymacji dokładności metody, badania wstępne w pomieszczeniu w warunkach kontrolowanych oraz badania w budynku wielorodzinnym. Rozdział trzynasty pracy doktorskiej to podsumowanie i wnioski.

3. Ocena pracy

Energia jest niezbędnym czynnikiem rozwoju ekonomicznego, społecznego i kulturowego ludzkości. Procesy związane z wytwarzaniem, przesyłem i użytkowaniem energii, z uwagi na swój charakter i skalę, są najbardziej uciążliwymi procesami dla środowiska naturalnego prowadzonymi przez człowieka. Sektor

budownictwa jest jednym z największych odbiorców energii a znaczący udział w zużyciu ciepła przypada na ogrzewanie i wentylację. Ze względu na długi czas eksploatacji budynków wybór zakresu termomodernizacji istniejących budynków, czy wybór technologii dla nowobudowanych obiektów powinien być zgodny z zasadą zrównoważonego rozwoju, biorąc również pod uwagę zapewnienie odpowiednich warunków stanu środowiska wewnętrznego.

Jedną z kluczowych wielkości oddziałujących bezpośrednio na określenie czasu zwrotu nakładów inwestycyjnych a tym samym wyboru optymalnego wariantu przedsięwzięcia termomodernizacyjnego podczas opracowywania audytu energetycznego oraz wykonywania oceny energetycznej budynku jest rzeczywiste zużycie ciepła budynku w trakcie jego eksploatacji. Obecnie w tym celu wykorzystujemy teoretyczne zapotrzebowanie na ciepło określane dla założonych warunków środowiska zewnętrznego i wewnętrznego budynku. Stan ten stwarza bardzo trudne warunki do określania efektywności: energetycznej, ekologicznej i ekonomicznej danego systemu budowlano-instalacyjnego. Dlatego też, biorąc pod uwagę powyższą sytuację, podjęcie przez Doktorantkę w rozprawie zadania opracowania metody pozwalającej na określanie strat ciepła przez przenikanie budynku na podstawie krótkich pomiarów *in situ* wykonywanych w ramach prowadzonej w budynku diagnostyki cieplnej świadczy o znajomości współczesnych zagadnień inżynierii środowiska oraz trafności wyboru tematyki naukowo-badawczej. Można podkreślić, że Doktorantka podjęła się interesującego i trudnego z punktu widzenia naukowego oraz aplikacyjnego celu badań, który jednoznacznie uzasadniła w rozdziale pierwszym pracy i sformułowała w rozdziale drugim ocenianej rozprawy. Przedstawiony ponadto w dalszej części rozdziału drugiego zakres pracy szczegółowo informuje o kolejnych etapach realizacji założonego celu pracy. W rozdziale trzecim Doktorantka w sposób systematyczny przedstawiła istniejący stan wiedzy z zakresu struktury budownictwa w kraju i Unii Europejskiej. Słusznie zwróciła również uwagę na pilną potrzebę termomodernizacji dużej części istniejących zasobów budowlanych oraz podkreśliła, że biorąc pod uwagę ilość i wiek istniejących w kraju budynków, największy potencjał oszczędności energii mają najstarsze budynki mieszkalne. Ponadto w zależności od roku budowy i izolacyjności termicznej przegród, a także zastosowanych rozwiązań technicznych systemów ogrzewania i wentylacji, budynki te mogą znacznie różnić się od siebie

pod względem zużycia ciepła na cele grzewcze oraz kosztów ich eksploatacji. Wskazuje to na konieczność opracowania narzędzi do szybkiej diagnostyki cieplnej systemów budowlano-instalacyjnych dla potrzeby realizacji procesów termomodernizacyjnych. W rozdziale czwartym Doktorantka rzeczowo przedstawiła co uważane będzie za diagnostykę cieplną budynku. Przedstawione w rozdziale piątym zasady określania charakterystyki energetycznej budynków mieszkalnych z uwzględnieniem algorytmów analitycznych oraz pomiarów, jak również kluczowe dane wejściowe wymagane do oceny energetycznej budynków nie budzą zastrzeżeń i są właściwe dla realizacji podjętego celu badań. Nie mam również uwag do przedstawionej w rozdziale szóstym problematyki określania oporu cieplnego i współczynnika przenikania ciepła przegród zewnętrznych budynku oraz współczynnika strat ciepła przez przenikanie. Przedstawione zależności są poprawne i zgodne z obowiązującymi wytycznymi w zakresie obliczeń cieplnych przegród budowlanych. Przedstawiony w rozdziale siódmym przegląd metod pomiarowych służących do określania charakterystyki energetycznej budynku jest ciekawym uzupełnieniem treści przedstawionych w rozdziałach wcześniejszych. Należy podkreślić, że Doktorantka przyjęła dobry punkt wyjścia do realizacji celu badań, tj. poszukiwań metody charakteryzującej się: krótkim czasem obliczeń, najwyższą możliwą dokładnością otrzymywanych wyników oraz niskimi kosztami jej zastosowania. Należy stwierdzić, że stan wiedzy przedstawiony w rozdziałach 1-7 w pełni uzasadnia podjęcie badanej problematyki oraz przyjęcie zaproponowanego zakresu badań co potwierdza nabycie przez Doktorantkę umiejętności przeprowadzenia krytycznego przeglądu literatury oraz poprawnego formułowania celu i zakresu badań.

Zaproponowana przez Doktorantkę i opisana w rozdziale ósmym koncepcja metody bilansowej z uwzględnieniem nieustalonego charakteru wymiany ciepła występującego w warunkach rzeczywistych i zastosowaniem krótkiego pomiaru zużycia ciepła jest logiczna i stanowi nowe ujęcie rozwiązywanego problemu. Miarodajna temperatura zewnętrzna uwzględniająca: temperaturę powietrza zewnętrznego, oddziaływanie promieniowania słonecznego i wiatru na budynek oraz wpływ oporu i pojemności cieplnej elementów zewnętrznej powłoki budynku na nieustaloną wymianę ciepła rozważanego budynku z jego otoczeniem zewnętrznym, pozwala na znaczące uproszczenie opracowanej metody. Przedstawiony w rozdziale dziewiątym model matematyczny i algorytm obliczeniowy

programu symulacyjnego charakteryzują się spójnym opisem, są logicznie ułożone i pozwalają na dużą łatwość jego użytkowania. Integracja: metody Exodus, systemów liniowych niezmiennych w czasie oraz temperatury słonecznej pozwoliła na uzyskanie dużej funkcjonalności opracowanej metody. Założenia do modelu należy przyjąć jako wystarczające do realizacji założonych analiz. Przedstawiona w rozdziale dziesiątym metoda weryfikacji i walidacji opracowanego modelu nie budzi zastrzeżeń a przeprowadzone symulacje wskazują na jego znaczną uniwersalność. Podsumowując ocenę rozdziałów 8-10 należy stwierdzić, że Doktorantka nabyła umiejętność poprawnego wyboru obiektu badań i metodyki badawczej.

Wyniki badań analizy wybranych wielkości związanych z przenikaniem ciepła dla kilku powszechnie używanych konstrukcji przegród budowlanych oraz uzyskane wrażliwości osiągniętych wyników przedstawiono w rozdziale jedenastym w sposób poprawny. Nie wnoszę zastrzeżeń także do wyników badań i ich analizy przedstawionych w rozdziale dwunastym dotyczącym praktycznego zastosowania opracowanej metody bilansowej. Ich opracowanie jest rzetelne. Należy stwierdzić jednak, że opracowana metoda umożliwia wyznaczenie, na podstawie krótkich pomiarów, współczynnika strat ciepła przez przenikanie obarczonego jednak dość dużym błędem. Nie umniejsza to jednak w żaden sposób zaproponowanej koncepcji metody bilansowej a wskazuje jedynie na konieczność dalszych badań. Niemniej jednak nasuwają się tutaj dwa pytania:

1. Jaki byłby akceptowalny błąd wartości współczynnika strat ciepła przez przenikanie uzyskanej z zastosowaniem opracowanej metody?
2. Czy w świetle uzyskanych wyników badań dla opracowanej metody można zaproponować wymogi/warunki jakie musi spełniać pomieszczenie, w którym dokonywany będzie pomiar współczynnika strat ciepła przez przenikanie – standardowe warunki pomiarów?

Nie mam zastrzeżeń do przedstawionego w rozdziale trzynastym podsumowania i wniosków końcowych. Zawarte w nim informacje są przekonujące oraz odnoszą się do celu pracy oraz zaproponowanego zakresu badań. Podsumowując ocenę rozdziałów 11-13 uważam, że Doktorantka nabyła umiejętności realizacji badań naukowych, analizy uzyskanych wyników i formułowania wniosków końcowych.

Za istotne osiągnięcia rozprawy uważam:

- 1) Opracowanie metody bilansowej uwzględniającej nieustalony charakter wymiany ciepła występujący w warunkach rzeczywistych, pozwalającej na wyznaczenie współczynnika strat ciepła przez przenikanie na drodze krótkich pomiarów zużycia ciepła.
- 2) Opracowanie autorskiego programu symulacyjnego NodeTemperature dla potrzeby wyznaczenia temperatury wewnętrznej powierzchni przegrody budowlanej w warunkach dynamicznych, charakteryzującego się możliwością jego dowolnego kształtowania oraz znacznie skracającego czas obliczeń z porównywalną dokładnością jak program Ansys CFX.
- 3) Przeprowadzenie testów opracowanej metody wyznaczania strat ciepła przez przenikanie w warunkach rzeczywistych poprzez przeprowadzenie badań w dwóch wybranych budynkach.

4. Wniosek końcowy

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie bardzo ważnego problemu naukowego, jakim jest wyznaczenie strat ciepła przez przenikanie istniejącego budynku mieszkalnego na potrzeby jego diagnostyki cieplnej. Jej poziom merytoryczny spełnia wymagania stawiane przez obowiązującą ustawę o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki. **Wobec powyższego wnioskuję o dopuszczenie rozprawy do publicznej obrony.**

Biorąc pod uwagę: złożoność i wagę podjętej problematyki, wykorzystane narzędzia naukowe, istotne osiągnięcia rozprawy przedstawione w mojej ocenie oraz dużą samodzielność ze strony Doktorantki w realizacji badań uważam, że praca doktorska mgr inż. Agaty Świerc pt. „Wyznaczanie strat ciepła przez przenikanie istniejącego budynku mieszkalnego na potrzeby jego diagnostyki cieplnej” kwalifikuje się do wyróżnienia.

